



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Patentschrift  
⑩ DE 195 43 893 C 1

⑳ Aktenzeichen: 195 43 893.0-33  
㉑ Anmeldetag: 24. 11. 95  
㉒ Offenlegungstag: —  
㉓ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 20. 2. 97

㉔ Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**H 01 L 21/30**  
H 01 L 21/306  
H 01 L 21/265  
H 01 L 21/31  
H 01 L 21/66  
G 01 L 9/00

DE 195 43 893 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

㉕ Patentinhaber:

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE

㉖ Vertreter:

Schoppe, F., Dipl.-Ing.Univ., Pat.-Anw., 82049 Pullach

㉗ Erfinder:

Buchner, Reinhold, Dipl.-Phys., 85774 Unterföhring,  
DE; Neumeier, Karl, Dipl.-Ing., 82008 Unterhaching,  
DE

㉘ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 37 43 080 A1  
US 49 39 568  
US 47 32 646  
JP 63-2 13 943 A2

TATIC-LUCIC, S. and TAI, Y.-Ch.: Novel  
extra-accurate method for two-sided alignment on  
silicon wafers. In: Sensors and Actuators A, 41-42  
(1994), pp. 573-577;

㉙ Verfahren zum Ausrichten von in einem Substrat zu erzeugenden Strukturen

- ㉚ Ein Verfahren zum Ausrichten einer in einem Substrat zu erzeugenden zweiten Struktur gegenüber einer in dem Substrat angeordneten mikromechanischen ersten Struktur weist folgende Schritte auf: Erzeugen einer Justagestruktur und der mikromechanischen ersten Struktur in einer ersten Hauptoberfläche des Substrats, derart, daß die Justagestruktur und die erste Struktur eine vorgegebene Beziehung aufweisen und die Justagestruktur sich ausgehend von der ersten Hauptoberfläche um einen vorbestimmten Abstand in das Substrat erstreckt, Dünnen des Substrats von der Seite einer zweiten Hauptoberfläche her, derart, daß die sich in das Substrat erstreckende Justagestruktur das gedünnte Substrat vollständig durchdringt, und Erzeugen der zweiten Struktur in einer vorgegebenen Beziehung zu der Justagestruktur in der zweiten Hauptoberfläche des Substrats.

DE 195 43 893 C 1



## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Ausrichten von in unterschiedlichen Hauptoberflächen eines Substrats zu erzeugenden Strukturen, beispielsweise bei der Herstellung eines monolithisch integrierten Sensorsystems.

Sensorsysteme, die mikromechanische Komponenten enthalten, werden derzeit üblicherweise nach der folgenden Verfahrensweise gefertigt. Zuerst werden die elektronischen Komponenten, beispielsweise piezoresistive Meßwandler, Leiterbahnen und Auswerteschaltungen, mittels eines CMOS-Fertigungsprozesses hergestellt. Nachfolgend werden die Wirkgeometrien für den Sensor mittels eines Strukturierungsverfahrens, beispielsweise eines naßchemischen KOH-Ätzens, hergestellt.

Dieses herkömmliche Verfahren weist jedoch für den Sensorhersteller erhebliche Nachteile auf. So ist es bei der Fertigung eines derartigen Sensors unumgänglich, getrennte Prozesse zur Herstellung des Sensors und der elektronischen Schaltung einzusetzen, da die bekannten CMOS-Fertigungsverfahren allein nicht ausreichen, um die mikromechanischen Komponenten eines Sensors zu realisieren.

Durch diese getrennten Sonderprozesse für die Fertigung des Sensors ist der Sensorhersteller jedoch gezwungen, bei der Strukturierung der mikromechanischen Komponenten der Sensoren sowohl spezielle Verfahrensschritte als auch spezielle zusätzliche Einzelgeräte zum Durchführen dieser Verfahrensschritte vorzusehen, was schließlich erhöhte Fertigungskosten zur Folge hat. Ein weiterer Nachteil dieses bekannten Herstellungsverfahrens besteht darin, daß für das Standardstrukturierungsverfahren für die mikromechanischen Komponenten des Sensors ein naßchemischer Ätzprozeß, beispielsweise eine KOH-Ätzung, verwendet wird. Dieser Ätzvorgang führt zu einer Kontamination des Substratmaterials, wodurch die nachfolgenden Halbleiterprozesse eingeschränkt, erschwert oder unmöglich gemacht werden. Folglich sind entweder nach der Strukturierung komplexe Reinigungsverfahren erforderlich, oder die Strukturierung der mikromechanischen Komponenten wird am Ende des Fertigungsprozesses durchgeführt. Die zweite Alternative erfordert jedoch aufwendige Vorkehrungen zum Schutz der Elektronik. Ferner senkt ein derart kritischer Schritt am Ende des Herstellungsprozesses die Ausbeute, wodurch sich die Kosten deutlich erhöhen.

Ein weiterer Nachteil dieses Verfahrens besteht darin, daß durch die ätztechnische Strukturierung der mikromechanischen Komponenten von der Rückseite eines Substrats her Radialen bzw. an die Kristallorientierung gebundene Schrägen erzeugt werden, die einen hohen, funktional unwirksamen Flächenverbrauch hervorrufen, der letztendlich eine Kostensteigerung zur Folge hat.

Alternativ zu der ätztechnischen Strukturierung von der Rückseite eines Substrats her existiert auch eine Strukturierung von der Vorderseite, das sogenannte Surface Micromachining. Auch dieses Verfahren weist jedoch eine Vielzahl von Nachteilen auf, da bei demselben aufwendige Sonderprozesse notwendig sind. Ferner sind bei diesem Verfahren die realisierbaren Sensorstrukturen bezüglich ihrer Dicke stark eingeschränkt, da sie erst durch Schichtabscheidungen hergestellt werden können. Aufgrund der Tatsache, daß sich bei dieser Abscheidung nur polykristallines Material, beispielsweise

Polysilizium, und kein monokristallines Material erzeugen läßt, wird die Integration von Halbleiterbauelementen in diesen Schichten aufgrund von Korngrenzen und den damit verbundenen hohen Leckströmen und geringen Ladungsträgerbeweglichkeiten nachteilig beeinflusst.

Ein Verfahren zur Sensorherstellung, das diesen Problempunkten begegnet, ist aus der DE 37 43 080 A1 bekannt. Bei diesem Verfahren werden in einem Substrat Ausnehmungen in einer der Hauptflächen desselben hergestellt, während auf einem zweiten Substrat die die spätere Membran bildenden Schichten abgeschieden werden. Anschließend werden diese beiden Substrate miteinander verbunden und das zweite Substrat oberhalb der Membran gedünnt oder teilweise entfernt. Danach wird eine piezoresistive Schicht derart gebildet, daß sie mit der Membran in Berührung steht und wenigstens teilweise oberhalb der Ausnehmung angeordnet ist. Dabei liefert der Widerstand dieser Schicht ein Maß für den an der Membran anliegenden Druck.

Diese Vorgehensweise weist einen wesentlichen Nachteil dahingehend auf, daß die beiden Substrate zueinander justiert werden müssen, damit die Meßwertnehmer oberhalb der Ausnehmungen zu liegen kommen. Dabei spielt die erreichbare Justagegenauigkeit eine entscheidende Rolle, da die Empfindlichkeit dieses Systems mit zunehmender Justagegenauigkeit stark abnimmt. Die für das bekannte Verfahren verwendeten Substrate bestehen üblicherweise aus einem Halbleitermaterial, beispielsweise Silizium oder Galliumarsenid, so daß eine Justage mit sichtbarem Licht nicht möglich ist, da diese Materialien im Wellenlängenbereich desselben undurchsichtig sind. Somit muß zur Justage infrarotes Licht verwendet werden, siehe die DE 37 43 080 A1. Dadurch ergeben sich jedoch spezielle erhöhte Anforderungen an die verwendeten Substrate. So ist es unerlässlich, daß beide Substrate beidseitig polierte Oberflächen aufweisen, um eine ausreichende Abbildungsqualität zu erreichen. Derartige Halbleitersubstrate sind jedoch nur auf spezielle Anforderung, in einer eingeschränkten Vielfalt und zu einem erhöhten Preis erhältlich.

Ferner besteht ein prinzipieller Nachteil dieser Methode darin, daß durch die größere Wellenlänge des Infrarotlichts Beugungseffekte stark zunehmen. Dies hat zur Folge, daß die Justagegenauigkeit deutlich abnimmt, wobei dieselbe in der Praxis nur bei etwa 10 µm liegt. Außerdem ist eine Infrarot-Justageeinrichtung in der Sensor- und Elektronik-Fertigung standardmäßig nicht erforderlich, so daß für diesen einen Prozeßschritt eine spezielle Ausrüstung benötigt wird, was die Fertigungskosten erhöht. Ferner müssen bei dieser Vorgehensweise in der Fertigung zwei unterschiedliche Justageverfahren angewendet werden, so daß eine Anpassung dieser Systeme erforderlich ist. Dies kann aber auch Prozeßänderungen notwendig machen, so daß ein Eingriff in bestehende Standardprozesse nicht vermieden werden kann.

Die DE 37 43 080 A1 beschreibt ausschließlich die Realisierung des Sensorelements, erwähnt jedoch auch die Möglichkeit der Integration von Halbleiterbauelementen. Dieser Hinweis enthält jedoch keinen Realitätsbezug, da ein Sensor in der angedeuteten Weise nicht oder nur mit extrem geringen Ausbeuten zu fertigen wäre. Gemäß der DE 37 43 080 A1 erfolgt die Herstellung der Membran nämlich nach der Fertigung der MOS-Bauelemente. Dies bewirkt jedoch, daß aufgrund der unvermeidbaren Obefflächentopographie ein Auf-



11

bringen der Membran durch den Verbindungsprozeß nur unzuverlässig und mit sehr geringen Ausbeuten möglich ist. Weiterhin erfordert der Verbindungsprozeß eine längere Temperaturbehandlung bei etwa 1000°C, um eine zuverlässige und stabile Verbindung zu erreichen. Da die elektronischen Bauelemente zu diesem Zeitpunkt jedoch bereits fertiggestellt sind, werden auch sie dieser Temperaturbehandlung ausgesetzt, wodurch sich das Temperaturbudget erhöht.

Infolge des oben Gesagten verschlechtern sich entweder die elektrischen Eigenschaften der Bauelemente aufgrund von Diffusionsprozessen oder ein Eingriff in den Herstellungsprozeß der Bauelemente wird erforderlich. Damit ist diese Vorgehensweise letztendlich für eine wirtschaftliche Fertigung nicht geeignet. Auch ein alternativ denkbare Aufkleben der Membran stellt keine optimale Lösung dar, da derartige Kleber nur Temperaturen von unter 400°C zulassen und eine deutlich geringere Haftung und Resistenz gegenüber Umwelteinflüssen aufweisen.

Aus "Novel extra-accurate method for two-sided alignment on silicon wafers", Sensors and Actuators A, 41-42 (1984), Seiten 573 bis 577, sind Verfahren zum Ausrichten von Strukturen auf der Vorder- und Rückseite einer dünnen Membran und eines Wafers bekannt. Bei dem bekannten Verfahren zum Ausrichten von Strukturen durch einen Wafer werden Ausrichtungsmarken auf einer Oberfläche des Wafers gebildet. Zusammen mit den Ausrichtungsmarken werden Kanäle für eine Ausrichtung von der einen Oberfläche zu der anderen gebildet. Alternativ werden statt des Bildens der Kanäle Ätzenfenster in der den Ausrichtungsmarken gegenüberliegenden Oberfläche des Wafers gebildet. Die beschriebenen Verfahren sind aufwendig und eignen sich nicht für eine Automatisierung.

Das US-Patent 7,732,646 beschreibt ein Verfahren des Bildens von Ausrichtungsmarken, die auf zwei gegenüberliegenden Oberflächen eines Substrats identisch positioniert sind. Ein mit auf beiden Hauptoberflächen mit Isolationsschichten versehenes Substrat wird dazu mit schweren Ionen hoher Energie beschossen. Die Ionen durchdringen die erste Isolationsschicht, das Substrat und die zweite Isolationsschicht. Dadurch werden in den Isolationsschicht Gitterstörungen erzeugt, während das Substrat unbeeinflusst bleibt. Bei einem nachfolgenden Ätzschritt können die Gitterstörungen geätzt werden, so daß sich auf beiden Seiten des Substrats gleich positionierte Markierungen ergeben.

Aus dem US-Patent 4,939,568 ist es bekannt, Strukturen, die sich in ein Substrat hinein erstrecken, aufzufüllen und von der gegenüberliegenden Seite her durch Dünnen des Substrats freizulegen. Die Strukturen dienen zur Herstellung von Kontakten und sind zum automatisierten Ausrichten von Strukturen auf den beiden Hauptoberflächen des Substrats nicht vorgesehen bzw. geeignet. Ein weiteres bekanntes Verfahren zum Justieren von Strukturen auf einem Substrat ist aus der JP 63-213943 A2 bekannt.

Ausgehend von dem genannten Stand der Technik liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Ausrichten einer in einer zweiten Hauptoberfläche eines Substrats zu erzeugenden Struktur bezüglich einer in einer ersten Hauptoberfläche des Substrats angeordneten mikromechanischen Struktur mit einer hohen Justage-Genauigkeit und einem geringen Fertigungsaufwand zu schaffen.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren gemäß Patentanspruch 1 gelöst.

Die vorliegende Erfindung schafft ein Verfahren zum Ausrichten einer in einem Substrat zu erzeugenden zweiten Struktur gegenüber einer in dem Substrat angeordneten, mikromechanischen ersten Struktur, das folgende Schritte aufweist:

Erzeugen einer Justagestruktur und der mikromechanischen ersten Struktur in einer ersten Hauptoberfläche des Substrats, derart, daß die Justagestruktur und die erste Struktur eine vorgegebene Beziehung aufweisen und die Justagestruktur sich ausgehend von der ersten Hauptoberfläche um einen vorbestimmten Abstand in das Substrat erstreckt, wobei die Justagestruktur aus einem Material gebildet wird, das bezüglich des Materials des Substrats unterscheidbare Eigenschaften aufweist;

Dünnen des gesamten Substrats von der Seite einer zweiten Hauptoberfläche her, derart, daß die sich in das Substrat erstreckende Justagestruktur das gedünnte Substrat vollständig durchdringt; und

Erzeugen der zweiten Struktur in einer vorgegebenen Beziehung zu der Justagestruktur in der zweiten Hauptoberfläche des Substrats.

Gemäß einem vorteilhaften Aspekt der vorliegenden Erfindung, kann das Verfahren zur Herstellung eines monolithisch integrierten Sensorsystems mit einer üblichen, industriellen Standardausrüstung verwendet werden, wobei eine hohe Justagegenauigkeit von Membran und Meßwertempfänger zur Fertigung präziser und empfindlicher Sensoren erzielt werden kann.

Bei dem Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Aufbau eines monolithisch integrierten Sensorsystems wird ein Halbleitersubstrat verwendet, das sowohl die mikromechanischen, als auch die elektronischen Komponenten enthält. In einer ersten Hauptoberfläche dieses Substrats werden zuerst Justagestrukturen und Ausnehmungen für die mikromechanischen Komponenten erzeugt, wobei dies gleichzeitig oder nacheinander erfolgen kann. Die Justagestruktur wird dabei so ausgelegt, daß sich dieselbe ausgehend von der ersten Hauptoberfläche in das Substrat erstreckt. Anschließend kann bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel ein Trägersubstrat auf der Seite der ersten Hauptoberfläche mit dem ersten Halbleitersubstrat verbunden werden, wobei hier eine Justage nicht erforderlich ist. Vielmehr genügt eine grobe Ausrichtung der beiden Substrate.

Im Anschluß wird das erste Halbleitersubstrat von der Rückseite her, d. h. von der zweiten Hauptoberfläche her, soweit gedünnt, daß die Justagestruktur, d. h. die Elemente der Justierungsmarke, an der zweiten Hauptoberfläche erscheinen.

Bei einem Ausführungsbeispiel können anschließend in einem selektiven Prozeß die Justagestrukturen auf der durch die Dünnung erzeugten neuen zweiten Hauptoberfläche des Substrats selbstjustierend ausgebildet werden, derart, daß dieselben für die weitere Prozeßführung verwendet werden können. Nachfolgend werden auf der zweiten Hauptoberfläche Meßwertempfänger und elektrische Schaltungselemente mit Standardprozessen hergestellt, wobei die erzeugten Justagestrukturen verwendet werden. Folglich wird zwischen den mikromechanischen Strukturen und den Meßwertempfängern eine hohe Justagegenauigkeit erzielt.

Dieses bevorzugte Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung ermöglicht es einem Sensorhersteller somit, die Herstellung von Sensoren ausschließlich mit Standard-CMOS-Prozessen und Standard-Verbindungstechniken durchzuführen, so daß für die mikrome-



11

chanischen Prozeßschritte keine spezielle Ausrüstung erforderlich ist. Dies ermöglicht eine kostengünstige Fertigung von integrierten mikromechanischen Systemen mittels eines Stapelverarbeitungsverfahrens. Ferner treten während der Herstellung des Sensors keine Kontaminationsprobleme auf, da auf den Einsatz derzeit üblicher, spezieller Ätzprozesse verzichtet werden kann.

Bevorzugte Weiterbildungen der vorliegenden Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen definiert.

Bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend bezugnehmend auf die beiliegenden Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein Ausgangssubstrat, das als Grundlage für die Herstellung eines monolithisch integrierten Drucksensors dient;

Fig. 2a bis 2d verschiedene Ausführungsbeispiele zur Herstellung einer sich in ein Substrat erstreckenden Justagestruktur;

Fig. 3a und 3b Ausführungsbeispiele für ein Substrat mit einer Justagestruktur und einer Ausnehmung für eine mikromechanische Sensorstruktur;

Fig. 4a das Substrat gemäß Fig. 3a nach dem Aufbringen und Bonden eines Trägersubstrats;

Fig. 4b ein SOI-Substrat mit einer Justagestruktur und einer Ausnehmung für eine mikromechanische Sensorstruktur nach dem Aufbringen und Bonden eines Trägersubstrats;

Fig. 5 die Anordnung von Fig. 4a oder 4b nach dem Dünnen des Substrats, wobei die Anordnung bezüglich der

Fig. 4a und 4b um 180° gewendet ist;

Fig. 6 die Anordnung von Fig. 5 nach einer selbstjustierenden Erzeugung der Justagestruktur auf der gedünnten zweiten Hauptoberfläche des Substrats; und

Fig. 7 die Anordnung gemäß Fig. 6 nach der Fertigung von elektronischen Schaltungen und Meßwertnehmern in der zweiten Hauptoberfläche des Substrats.

Anhand der Figuren wird nachfolgend ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel der Erfindung, das die Herstellung eines monolithisch integrierten Drucksensors betrifft, ausführlich beschrieben. Es sei daraufhingewiesen, daß in der nachfolgenden Beschreibung der einzelnen Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung anhand der Figuren für gleiche Elemente gleiche Bezugszeichen verwendet werden.

Bei dem bevorzugten Ausführungsbeispiel wird, wie in Fig. 1 gezeigt ist, ein Ausgangssubstrat 1, das beispielsweise aus monokristallinem Silizium besteht, auf einer ersten Hauptoberfläche desselben mit einer Maskierungsschicht 2, die beispielsweise aus Oxid oder Nitrid besteht, versehen. Diese Maskierungsschicht 2 wird mittels eines Photolithographieverfahrens und eines Ätzprozesses strukturiert, um eine freiliegende Stelle des Substrats 4, an der die Justagestruktur, die gesamt mit dem Bezugszeichen 3 bezeichnet ist, ausgebildet werden soll, zu definieren. Derartige freiliegende Stellen werden dabei in der Regel mehrfach auf dem Substrat erzeugt und können sowohl global als auch chipweise angeordnet sein, um die Erzeugung einer Mehrzahl von Justagestrukturen zu ermöglichen.

Wie in Fig. 2a gezeigt ist, wird das Substrat 1 bei diesem Ausführungsbeispiel an den freiliegenden Stellen 4 geätzt, um einen Graben 5 in dem Substrat 1 auszubilden. Dabei dient die Maskierungsschicht als Maskierung für den Ätzvorgang. Mittels dieses Ätzvorgangs wird die Justagestruktur derart erweitert, daß sich dieselbe ausgehend von der ersten Hauptoberflä-

che des Substrats in die Substrattiefe erstreckt. Dadurch werden die freiliegenden Stellen des Substrats 4, die den Ort der Justagestruktur 3 definieren, in das Substrat übertragen.

Für den oben genannten Ätzvorgang wird vorzugsweise ein anisotroper Ätzprozeß mit steilen Flanken verwendet, so daß die Justagestruktur in verschiedenen Substrattiefen nur geringe Maßabweichungen aufweist. Es sind jedoch auch andere Ätzprozesse, beispielsweise isotrope Ätzungen zulässig, solange die Maßabweichungen reproduzierbar sind und scharfe Kanten erzeugt werden. Insbesondere bei Justageverfahren, die nicht eine einzelne Kante, sondern beispielsweise ein periodisches Linienmuster zur Justage verwenden, spielen derartige Maßabweichungen keine Rolle. Die Tiefe des Grabens 5 entspricht dabei der Dicke des späteren Bauelementesubstrats.

Da der Graben 5 typischerweise eine Tiefe von mehreren Mikrometern aufweist, ist er für nachfolgende Prozeßschritte, insbesondere Photolithographieschritte, störend und führt nicht nur zu einem erhöhten Fertigungsaufwand, sondern auch zu einer reduzierten Ausbeute, da beispielsweise eine homogene Belackung mit Standardprozessen nicht mehr möglich ist. Es ist deshalb notwendig, die Topographie, die durch den oder die Gräben 5 gebildet wird, zu vermeiden oder gering zu halten.

Zu diesem Zweck kann der Graben 5 mit einem Material aufgefüllt werden, das teilweise von dem Substrat unterschiedliche physikalische Eigenschaften aufweist, die später zur Erkennung der Justagestruktur, bzw. der Justagestrukturen, ausgenutzt werden können. Da das Substrat anschließend einen kompletten CMOS-Prozeß durchläuft, ist die Materialauswahl aus Kompatibilitätsgründen sehr eingeschränkt, so daß nur Oxide, bzw. mono- oder polykristallines Substratmaterial, beispielsweise Polysilizium, in Frage kommen. Wird Silizium als Substratmaterial verwendet, können jedoch durch die stark unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten von Silizium und Oxid mechanische Spannungen bei mit Oxid gefüllten Gräben bewirkt werden, was besonders bei den unvermeidbaren Hochtemperaturprozessen problematisch ist und zu Kristallfehlern führt, wobei die Eigenschaften der Bauelemente negativ beeinflusst werden.

Um die oben genannten Probleme zu umgehen, wird deshalb bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung der Graben 5 mit einem polykristallinen Substratmaterial 6a, beispielsweise Polysilizium im Falle eines Siliziumsubstrates, aufgefüllt, wie in Fig. 2b gezeigt ist. Dies kann mittels einer konformen LPCVD-Abscheidung (LPCVD = Low Pressure Chemical Vapour Deposition) erfolgen, die ein lunkerfreies Auffüllen des Grabens 5 ermöglicht. Danach kann das polykristalline Material, das zum Auffüllen dient, mittels eines Planarisierungs- und/oder Rückätzschritts auf der Oberfläche des Substrats 1, bzw. auf der Maskierungsschicht 2, wieder entfernt werden.

Der Vorteil der oben genannten Vorgehensweise besteht darin, daß die mechanischen Eigenschaften des polykristallinen Materials ähnlich denen des monokristallinen sind, so daß insbesondere das Problem der unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten und die damit verbundene Generierung von mechanischen Spannungen unkritisch wird.

Um die Justagestruktur 3 nach einer Dünnung des Bauelementesubstrats, welche nachfolgend näher erläutert wird, nun aber mit einem selbstjustierenden Prozeß,





d. h. mit einer sehr hohen Genauigkeit, auf eine zweite Hauptoberfläche transferieren zu können, wird das Material 6a, mit dem der Graben 5 aufgefüllt ist, beispielsweise Polysilizium, in einer Eigenschaft gezielt verändert. Möglichkeiten zur Änderung einer Eigenschaft sind beispielsweise eine Änderung der Dotierung oder der Kristallordnung in Verbindung mit bestimmten Prozessschritten, die gegenüber diesen Modifikationen empfindlich sind. Im Falle der Änderung des Dotierungsniveaus kann eine hohe Dotierung des Materials 6a entweder während der Abscheidung desselben oder im Anschluß daran erfolgen, wobei ausgenutzt wird, daß die Diffusionsprozesse in polykristallinem Material aufgrund der hohen Korngrenzendichte stark beschleunigt ablaufen.

Gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel kann anschließend auf dem den Graben ausfüllenden Material 6a eine Schutz- oder Deck-Schicht 7, beispielsweise aus Oxid, erzeugt werden, wie in Fig. 2b gezeigt ist, welche als Ätzbzw. Diffusions-Barriere wirkt. Im Falle der epitaktischen Auffüllung des Grabens 5 mit Substratmaterial, beispielsweise Silizium, muß die Dotierung bereits während des Aufwachsens erfolgen.

Die Grabenfüllung und die Dicke der Schutzschicht 7 werden derart ausgelegt, daß zusammen mit der Maskierungsschicht 2 eine ebene Oberfläche gebildet wird, oder daß zumindest der Bereich der Justagestruktur 3 kein höheres Niveau als die Maskierungsschicht 2 bildet. Da die Justagestruktur 3 nur einen sehr geringen Anteil der Substratoberfläche belegt, liegt damit eine ebene Oberfläche des Substrats 1 mit der Maskierungsschicht 2 vor, so daß der spätere Verbindungsprozeß durch eventuelle Unebenheiten nicht nachteilig beeinflusst wird.

Alternativ zu dem oben erläuterten Verfahren kann der Graben 5 bei einem alternativen Ausführungsbeispiel mit einem Schichtsystem aus Materialien wie Oxid, Polysilizium oder Nitrid aufgefüllt werden. Durch die Erzeugung einer Oxidschicht an den Grabenrändern, die als Diffusionsbarriere wirkt, kann außerdem eine laterale Diffusion von Dotieratomen der Grabenfüllung verhindert werden. Dadurch wird letztendlich eine Verbreiterung des dotierten Gebiets und eine Verringerung der Konzentrationsgradienten vermieden, so daß eine hohe Maßhaltigkeit der in das Substrat übertragenen Justagestruktur erreicht wird.

Ferner ist es gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel möglich, den Graben 5 mit einem Dielektrikum, beispielsweise einem Oxid oder dotierten Gläsern, aufzufüllen. Dotierte Gläser, beispielsweise Borphosphorsilikatglas (BPSG), Borsilikatglas (BSG) oder Phosphorsilikatglas (PSG), sind viskos und können den Aufbau von mechanischen Spannungen reduzieren. Dabei entspricht der Verfahrensablauf im wesentlichen der bereits beschriebenen Vorgehensweise.

Die Maskierungsschicht 2 ist nicht unbedingt notwendig, um den Graben 5 zu erzeugen, da der bei der Photolithographie verwendete Lack als Maskierung ausreichen kann. In einem derartigen Fall würde die Schutzschicht 7 auf dem gesamten Substrat erzeugt werden, 7a, und könnte im weiteren Prozeßablauf die Maskierungsschicht 2 ersetzen (siehe Fig. 2d).

Alternativ zu den oben genannten Verfahren kann die in das Substrat reichende Justagestruktur mittels einer Ionenimplantation und einer Eintreibtemperatur bei hohen Temperaturen von typischerweise 1100°C bis 1200°C erzeugt werden. Eine derartige Justagestruktur ist bei 6b in Fig. 2c gezeigt. Die mittels der Ionenimplan-

tation und der Eintreibtemperatur erreichbare Tiefe ist jedoch auf einige Mikrometer beschränkt, wobei das Eintreiben wegen der isotropen Diffusion gleichzeitig zu einer Verbreiterung der Strukturen führt. Bei diesem Ausführungsbeispiel kann die Schutzschicht 7 optional vor der Implantation, während des Eintreibens oder danach erzeugt werden. Auch hier ist die Maskierungsschicht 2 nicht unbedingt notwendig, da hier der Photolack als Maskierung für die Ionenimplantation ausreichen kann.

Die optional nach der Implantation erzeugte Schutzschicht 7 kann hierbei ein Oxid sein. Wie in Fig. 2d gezeigt ist, kann die Schutzschicht 7a über der gesamten ersten Hauptoberfläche des Substrats aufgebracht werden. Wird zum Aufbringen der Schutz- oder Deck-Schicht 7a ein Oxidationsprozeß verwendet, dessen Oxidationsrate abhängig von der Substratdotierung ist, wird in der Schutzschicht 7a selbstjustierend eine Stufe erzeugt, die sich am Ort der Justagestruktur 3 befindet (siehe Fig. 2d). Die nun als Erhebung ausgebildete Justagestruktur 3 kann durch einen weiteren Oxidations-schritt nach Entfernen des Oxids 7a in eine Vertiefung umgewandelt werden, derart, daß der folgende Verbindungsprozeß nicht mehr nachteilig beeinflusst wird.

Nach dem Ausbilden der Justagestruktur 3, deren Füllstoff in Fig. 3a allgemein mit dem Bezugszeichen 6 bezeichnet ist, wird eine Ausnehmung für die mikromechanische Sensorstruktur auf der Seite der ersten Hauptoberfläche des Substrats in einer vorbestimmten Beziehung zu der Justagestruktur 3 erzeugt. Bei einem Ausführungsbeispiel wird die Struktur für die Ausnehmung mit einem Photolithographieschritt festgelegt und dann mit einem Ätzschritt in die Maskierungsschicht 2 übertragen, wie in Fig. 3a gezeigt ist. Wenn die Tiefe dieser Ausnehmung 8a nicht ausreicht, kann bei einem alternativen Ausführungsbeispiel das Substrat mit einem weiteren Ätzschritt lokal gedünnt werden, wobei die Schichten 2 und/oder 7a optional als Maskierung dienen können. Eine solche Ausnehmung ist bei 8b in Fig. 3b gezeigt.

Somit ist es nicht nur möglich, die jeweiligen Substratdicken für die elektronischen und für die mikromechanischen Komponenten zu optimieren, sondern auch durch die Anwendung unterschiedlicher Masken auf einem Substrat, bzw. auf einem Chip, Ausnehmungen mit verschiedenen Tiefen zu erzeugen. Anschließend kann gegebenenfalls noch eine Schutzschicht, beispielsweise aus Siliziumdioxid, auf der Ausnehmung 8a, 8b erzeugt werden (nicht gezeigt).

Wie in Fig. 4a gezeigt ist, kann bei einem Ausführungsbeispiel nach dem Bilden der Ausnehmung 8a, 8b ein Trägersubstrat 10, das eventuell mit einer Abdeckungsschicht 11, die beispielsweise aus Siliziumdioxid besteht, versehen ist, auf das Substrat 1 aufgebracht und mit einem Tempersschritt bei Temperaturen von etwa 900°C bis 1200°C auf dasselbe gebondet werden, derart, daß die beiden Substrate über Molekülbindungen miteinander verbunden sind und damit üblichen Herstellungsprozessen für Halbleiterbauelemente ausgesetzt werden können, wobei keine Einschränkungen bezüglich des maximalen Temperaturbudgets bestehen. Eine Justage des Trägersubstrats 10 bezüglich des Substrats 1 ist nicht notwendig, da das Substrat 10 keine Strukturen enthält. Dadurch kann der sonst erforderliche Einsatz von aufwendiger Spezialausrüstung zur Justage, beispielsweise Infrarot-Justageeinrichtungen, vermieden werden.

Anschließend wird das erste Substrat von der zweiten



11

Hauptoberfläche desselben her soweit gedünnt, daß das Substrat 1 die geforderte Restdicke erhält. Das Dünnen kann dabei auf eine bekannte Art und Weise mechanisch, chemisch, chemomechanisch oder in einer Kombination dieser Varianten erfolgen. Bei diesem Ausführungsbeispiel wird durch die Dünnung die Dicke der mikromechanischen Membran zwischen der gedünnten zweiten Hauptoberfläche des Substrats und der parallel zur ersten Hauptoberfläche des Substrats verlaufenden Oberfläche der Ausnehmung 8a, 8b bestimmt. Ferner werden die Parameter der Dünnung derart gewählt, daß das den Graben ausfüllende Material 6, das bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel hochdotiert ist, auf der zweiten Hauptoberfläche des Substrats freigelegt wird und bis zur durch die Dünnung erzeugten, neuen Oberfläche des Substrats 1 reicht, wie in Fig. 5 gezeigt ist.

Sind vor dem Dünnungsprozeß mehrere Ausnehmungen mit unterschiedlichen Tiefen auf dem Substrat, bzw. auf dem Chip, angeordnet, so entstehen durch den Dünnungsprozeß unterschiedliche Restdicken des Substrats. Es ist somit möglich, auf einem Substrat, bzw. auf einem Chip, Sensoren mit verschiedenen Membrandicken und damit unterschiedlichen Kenndaten, beispielsweise der Empfindlichkeit, herzustellen.

Bei einem alternativen Ausführungsbeispiel kann der Dünnungsprozeß dadurch vereinfacht werden, daß als Ausgangsmaterial für das Substrat 1 ein SOI-Material (SOI = Silicon On Insulator) verwendet wird, welches eine vergrabene Oxidschicht 9 enthält. Ein solches Substrat ist zusammen mit einem Trägersubstrat in Fig. 4b gezeigt. Der Vorteil liegt darin, daß der Dünnungsprozeß so ausgelegt wird, daß diese vergrabene Oxidschicht 9 als Ätzstopp dient. Aufgrund der großen Selektivität der Ätzprozesse wird damit eine hohe Homogenität der Dicke des gedünnten Substrats 1 erreicht. Die Enddicke des Substrats 1 wird dabei durch die Dicke der Substratschicht, die in Fig. 4b oberhalb des vergrabenen Oxids 9 liegt, welches danach entfernt wird, bestimmt. Bei diesem Ausführungsbeispiel wird die Bildung der in das Substrat reichenden Justagestruktur, d. h. die Ätzung des Grabens 5, bzw. die Erzeugung des hochdotierten Gebietes 6, derart durchgeführt, daß deren Ausdehnung die vergrabene Oxidschicht 9 erreicht, siehe Fig. 4b. Dies führt ferner zu einer erhöhten Prozeßsicherheit, da die vergrabene Oxidschicht 9 als Ätzstopp bei der Ätzung des Grabens 5 dient, bzw. eine Diffusionsbarriere für den Eintreibschritt darstellt.

Alternativ könnte statt der Isolatorschicht 9 eine hochdotierte Schicht als Ätzbarriere verwendet werden. In diesem Fall wäre statt der vergrabenen Oxidschicht 9 ein hochdotiertes Gebiet, das in der Regel p-dotiert ist, im Substrat 1 angeordnet. Durch den Einsatz von Ätzverfahren, deren Ätzraten stark dotierungsabhängig sind, wie z. B. KOH oder Ethylendiamin, könnte erreicht werden, daß die Dünnung des Substrats 1 selbständig an dieser hochdotierten Schicht stoppt.

Bei der nach der Dünnung erhaltenen Anordnung, die in Fig. 5 gezeigt ist, sollen nun in dem Substrat 1 die elektronischen und mikromechanischen Schaltungskomponenten auf der zweiten Hauptoberfläche desselben hergestellt werden. Durch die Definition der Ausnehmung 8a ist die Lage der mikromechanischen Membran festgelegt, in die noch Meßwertaufnehmer, die aus piezoresistiven Widerständen oder Kondensatorstrukturen bestehen, implementiert werden müssen.

Um eine hohe Empfindlichkeit dieser Sensoren zu erreichen, ist es notwendig, daß die Meßwertaufnehmer

bezüglich der Ausnehmung möglichst exakt positioniert werden können. Dies ist durch die Justagestruktur 3 (das dotierte Gebiet 6), die sich durch das gedünnte Substrat 1 erstreckt, möglich.

Es kann nun erforderlich sein, die Justagestruktur 3, die als eine Substratmodifikation vorliegt, selbstjustierend für Justagesysteme nutzbar zu machen, die üblicherweise eine Stufe im Material benötigen. Bei einem Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens wird nun ein Abscheide-, Oxidations- oder Ätzprozeß durchgeführt, der selektiv bezüglich derjenigen physikalischen Eigenschaften des Substrats ist, die im Gebiet des Grabens 5 gezielt modifiziert wurde.

Bei dem erläuterten Ausführungsbeispiel ist dies die Substratdotierung, die nun mit einem selektiven Prozeß selbstjustierend in eine Stufe umgesetzt wird. Wird ein Oxidationsprozeß verwendet, dessen Oxidationsrate empfindlich bezüglich der Substratdotierung ist, wird durch den Oxidationsprozeß eine Oxidschicht 20 erzeugt, wie in Fig. 6 gezeigt ist, die im Bereich des bei dem Ausführungsbeispiel hochdotierten Gebietes 6 dicker ist als im restlichen Bereich des Substrats, wobei eine Stufe in der Oxidschicht 20 und im Substrat 1 erzeugt wird. Bei dem Ausführungsbeispiel, bei dem die Grabenauffüllung mit polykristallinem Material erfolgt ist, führt dies aufgrund der zusätzlich erhöhten Oxidationsrate zu einer Verstärkung des Effekts. Durch eine geeignete Wahl der Prozeßparameter dieses Oxidationsschrittes können dabei die Oxiddicken auf dem schwach- und dem hochdotierten Substratmaterial eingestellt werden.

Durch diesen Oxidationsschritt wird die Justagestruktur 3 über den sich durch das Substrat erstreckenden Abschnitt 6 derselben mit einer sehr hohen Genauigkeit selbstjustierend auf die gedünnte zweite Hauptoberfläche des Substrats übertragen, wobei dort eine übertragene Justagestruktur oder Justierungsmarke 21 gebildet wird. Auf der Grundlage dieser übertragenen Justagestruktur 21 können nun Meßwertaufnehmer 23 sowie elektronische Schaltungen 22 exakt auf der gedünnten zweiten Substratoberfläche plaziert werden, siehe Fig. 7. Die übertragene Justagestruktur 21 kann sowohl als eine Erhebung, als auch als eine Vertiefung (durch eine Entfernung des Oxids 20), ausgebildet und somit unterschiedlichen Bedürfnissen angepaßt werden.

Bei stärker dotierten Substraten kann der Graben 5 mit undotiertem Silizium aufgefüllt werden, so daß das Gebiet 6 dann niedriger dotiert wäre als das Substrat 1. Bei diesem Ausführungsbeispiel würde die übertragene Justagestruktur 21 durch den Oxidationsschritt als eine Vertiefung ausgebildet werden. Durch eine geeignete Dünnung des Oxids 20 ist es ferner möglich, das Grabengebiet freizulegen und die Grabenauffüllung 6 selektiv zu dünnen, um die Stufenhöhe der übertragenen Justagestruktur 21 einzustellen.

Falls der Graben mit einem Dielektrikum aufgefüllt ist, wird die übertragene Justagestruktur 21 mit einem Ätzschritt, der das Dielektrikum selektiv zum Substrat ätzt, einem Oxidationsschritt oder einem selektiven Abscheideprozeß selbstjustierend erzeugt. Die Grabenauffüllung kann dabei selektiv abgetragen werden, derart, daß das Maß der Vertiefung eingestellt werden kann.

Das nun vorliegende Substrat 1 mit der übertragenen Justagestruktur 21 stellt damit das Ausgangssubstrat für die Herstellung der elektronischen Schaltungen 22 und der Meßwertaufnehmer 23 dar, wie in Fig. 7 gezeigt ist. Die elektronischen Schaltungen 22 und die Meßwertaufnehmer 23 können unter Verwendung bekannter



Fertigungs-Prozesse und -Anlagen hergestellt werden.

Die vorliegende Erfindung schafft somit ein Verfahren zum Ausrichten einer in einer Hauptoberfläche eines Substrats zu erzeugenden Struktur bezüglich einer in einer anderen Hauptoberfläche des Substrats angeordneten, mikromechanischen Struktur mittels einer das Substrat durchdringenden Justagestruktur, die selbstjustierend von einer Hauptoberfläche des Substrats übertragbar ist. Aufgrund der exakten Justierung, sowie der Beseitigung des Bedarfs nach einer zusätzlichen Fertigungsausrüstung, ist das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung eines monolithisch integrierten Sensorsystems besonders geeignet.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Ausrichten einer in einem Substrat (1) zu erzeugenden zweiten Struktur (22, 23) gegenüber einer in dem Substrat (1) angeordneten, mikromechanischen ersten Struktur (8a, 8b), gekennzeichnet durch folgende Schritte:
  - 1.1 Erzeugen einer Justagestruktur (3) und der mikromechanischen ersten Struktur (8a, 8b) in einer ersten Hauptoberfläche des Substrats (1), derart, daß die Justagestruktur (3) und die erste Struktur (8a, 8b) eine vorgegebene Beziehung aufweisen und die Justagestruktur (3) sich ausgehend von der ersten Hauptoberfläche um einen vorbestimmten Abstand in das Substrat (1) erstreckt, wobei die Justagestruktur aus einem Material (6) gebildet wird, das bezüglich des Materials des Substrats (1) unterscheidbare Eigenschaften aufweist;
  - 1.2 Dünnen des gesamten Substrats von der Seite einer zweiten Hauptoberfläche her, derart, daß die sich in das Substrat (1) erstreckende Justagestruktur (3) das gedünnte Substrat vollständig durchdringt; und
  - 1.3 Erzeugen der zweiten Struktur (22, 23) in einer vorgegebenen Beziehung zu der Justagestruktur (3) in der zweiten Hauptoberfläche des Substrats (1).
2. Verfahren gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Hauptoberfläche des Substrats (1) vor dem Schritt 1.2 mit einem Trägersubstrat (10) verbunden wird.
3. Verfahren gemäß Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem Schritt 1.1 eine Maskierungsschicht (2) auf die erste Hauptoberfläche des Substrats (1) aufgebracht wird, die dann strukturiert wird, um den Ort (4) der Justagestruktur (3) festzulegen.
4. Verfahren gemäß Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die sich in das Substrat erstreckende Justagestruktur (3) durch Ätzen eines Grabens (5) an dem festgelegten Ort (4) bis zu dem vorbestimmten Abstand, sowie durch Auffüllen des Grabens (5) mit einem Material (6), das eine bezüglich des Materials des Substrats (1) unterscheidbare Eigenschaft aufweist, gebildet wird.
5. Verfahren gemäß Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat (1) aus einem monokristallinen Halbleitermaterial besteht, und daß für das Auffüllmaterial (6) eine polykristalline Form des gleichen Halbleitermaterials verwendet wird, das gezielt verändert wird, um eine Eigenschaft desselben bezüglich des Substratmaterials unter-

scheidbar zu machen.

6. Verfahren gemäß Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die unterscheidbare Eigenschaft die Dotierung ist.
7. Verfahren gemäß Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Graben (5) mit einem Schichtsystem aus Materialien, die aus Oxid, Polysilizium und Nitrid ausgewählt sind, aufgefüllt wird.
8. Verfahren gemäß Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der geätzte Graben (5) mit einem Dielektrikum aufgefüllt wird.
9. Verfahren gemäß Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß als das Dielektrikum dotierte Gläser verwendet werden.
10. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die sich in das Substrat erstreckende Justagestruktur (6b) mittels einer Ionenimplantation und/oder einer Eintreibtemperatur erzeugt wird.
11. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß nach dem Erzeugen der Justagestruktur (3) eine Deckschicht (7) auf die in der ersten Hauptoberfläche freiliegende Justagestruktur (3) aufgebracht wird.
12. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß nach dem Erzeugen der Justagestruktur (3) eine Deckschicht (7a) auf die gesamte erste Hauptoberfläche des Substrats (1) aufgebracht wird.
13. Verfahren gemäß Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Deckschicht (7, 7a) aus Oxid besteht.
14. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die mikromechanische erste Struktur (8a, 8b) durch das Bilden einer Ausnehmung auf der Seite der ersten Hauptoberfläche des Substrats (1) erzeugt wird, derart, daß die parallel zu der ersten Hauptoberfläche des Substrats (1) angeordnete Oberfläche der Ausnehmung (8a, 8b) sowie die zweite Hauptoberfläche nach der Dünnung im Schritt 1.2 die Dicke einer Membran, die die mikromechanische Struktur darstellt, definieren.
15. Verfahren gemäß Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Struktur, die in einer vorgegebenen Beziehung zu der Justagestruktur in der zweiten Hauptoberfläche des Substrats (1) erzeugt wird, Meßwertaufnehmer (23) und elektronische Schaltungen (22) in einer vorbestimmten Anordnung bezüglich der mikromechanischen Struktur sind.
16. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 2 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß das Trägersubstrat (10) eine Abdeckschicht (11) auf einer ersten Hauptoberfläche desselben aufweist, wobei die erste Hauptoberfläche des Trägersubstrats (10) mit der ersten Hauptoberfläche des Substrats (1) verbunden wird.
17. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß als Substrat ein SOI-Substrat verwendet wird, das eine vergrabene Oxidschicht (9) enthält, wobei das Ausmaß der Dünnung des Substrats (1) durch diese Oxidschicht (9) bestimmt ist, wobei der vorbestimmte Abstand, um den die Justagestruktur (3) in das Substrat (1) reicht, durch den Abstand der Oxidschicht (9) von der ersten Hauptoberfläche des Substrats (1) gegeben ist.



11

12

18. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß nach dem Schritt 1.3 auf der zweiten Hauptoberfläche des Substrats (1) auf der Basis der das Substrat durchdringenden Justagestruktur (3) selbstjustierend eine Justierungsmarke (21) ausgebildet wird, die durch Justagesysteme verwertbar ist. 5

19. Verfahren gemäß Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß mittels eines Verfahrens, das selektiv bezüglich unterschiedlicher Eigenschaften des Substratmaterials und des Materials der Justagestruktur ist, eine Schicht (20) auf die zweite Hauptoberfläche des Substrats aufgebracht wird, derart, daß die Dicke der Schicht über der Justagestruktur (3) und die Dicke der Schicht über dem restlichen Substrat (1) unterschiedlich sind. 15

20. Verfahren gemäß Anspruch 18 in Rückbezug auf Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Verfahren, das selektiv bezüglich der unterschiedlichen Eigenschaften des Substratmaterials und des Materials (6) der Justagestruktur ist, ein Oxidationsverfahren ist, das auf schwach und stark dotierten Gebieten unterschiedliche Oxiddicken erzeugt. 20

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

25

30

35

40

45

50

55

60

65





- Leerseite -



44











